

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat (*heavy metal* atau *trace metal*) merupakan istilah yang digunakan untuk menamai kelompok metal dan *metalloid* dengan densitas/ berat jenis lebih besar dari 5 g/cm³ (Hutagalung, 1991). Logam berat dalam konsentrasi yang sangat rendah disebut sebagai logam renik. Logam berat (*heavy metals*) merupakan sekelompok elemen-elemen logam yang dikategorikan berbahaya jika masuk ke dalam tubuh makhluk hidup. Logam-logam seperti merkuri (Hg), nikel (Ni), kromium (Cr), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) dapat ditemukan dalam lingkungan perairan yang tercemar limbah (Nugroho, 2006). Logam berat dapat bereaksi membentuk ikatan koordinasi dengan ligan dalam tubuh berbentuk -OH, -COO-, -OPO₃H-, -C=O, -SH, -S-S-, -NH₂ dan =NH (Darmono, 1995).

Air limbah Industri merupakan sumber pencemaran air yang sangat potensial. Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia telah banyak mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan (Karbassi, 2008). Logam berat juga dapat berpindah dari lingkungan ke organisme dan dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan (Yalcin, 2008). Logam berat yang ada pada perairan, suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi dan juga menyebabkan masyarakat yang menggunakan air yang mengandung logam berat tersebut akan memiliki peluang yang sangat besar untuk terkontaminasi logam berat tersebut. Air yang mengandung logam berat akan menjadi bahan racun dalam tubuh makhluk hidup (Palar, 2008).

Pada konsentrasi yang tinggi, limbah tersebut menyebabkan kontaminasi bakteriologis serta beban nutrisi yang berlebihan (*eutrophication*). Limbah industri anorganik lebih sulit untuk dikontrol dan mempunyai potensi bahaya yang lebih besar. Industri kimia berbahaya mengeluarkan limbah berbahaya yang mengandung senyawa yang bersifat racun (*toxic material*) serta logam berat yang bersifat toksik.

Air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya. Industri tersebut selain menghasilkan produk yang bermanfaat, juga menghasilkan produk samping berupa limbah yang berbahaya dan beracun. Limbah beracun yang dihasilkan industri antara lain dapat berupa logam berat. Menurut beberapa literatur terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat.

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain. Logam berat tersebut dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan (Said, 2010).

Beberapa jenis industri yang banyak mengandung logam berat adalah industri yang berhubungan dengan pekerjaan permesinan, metalurgi, pelapisan logam, cat, kulit, serta industri pertambangan. Beberapa logam berat serta senyawa beracun yang banyak dijumpai di dalam air limbah industri adalah krom (Cr), Nikel (Ni), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Kadmium (Cd), Perak (Ag), Timbal (Pb) dan Senyawa Sianida. Air limbah yang mengandung logam berat termasuk golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Air limbah yang mengandung logam berat telah menjadi isu lingkungan yang telah menyita perhatian banyak pihak mengingat dampak yang ditimbulkannya dapat berakibat buruk bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia (Said, 2010).

Logam berdasarkan toksisitasnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

- a. Toksisitas tinggi, contohnya merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), arsen (As), tembaga (Cu), dan seng (Zn).
- b. Toksisitas sedang, contohnya kromium (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co).
- c. Toksisitas rendah, contohnya mangan (Mn) dan besi (Fe) (Darmono, 1995).

Logam berat dianggap berbahaya bagi kesehatan bila terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh. Beberapa di antaranya bersifat membangkitkan kanker (karsinogen).

Bahan pangan dengan kandungan logam berat tinggi dianggap tidak layak konsumsi. Logam berat dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia.

Logam berat jika sudah terserap ke dalam tubuh maka tidak dapat dihancurkan tetapi akan tetap tinggal di dalamnya hingga nantinya dibuang melalui proses ekskresi. Manusia sebagai makhluk omnivora (pemakan segala), rentan sekali terkena penyakit yang berasal dari bahan makanan yang tercemar oleh logam berat. Sumber-sumber kontaminannya yaitu sayur-sayuran maupun ternak yang terkontaminasi logam berat dari air penyiramnya yang mengandung logam berat ataupun rumput yang dimakan ternak yang terkontaminasi oleh logam berat dari air yang diserapnya (Dwi, 2013).

2.1.1 Timbal (Pb)

Timbal atau timah hitam adalah sejenis logam lunak berwarna coklat dengan nomor atom 82, berat atom 207,19, titik cair 327,5° C, titik didih 1725° C, berat jenis 11,4 gr/ml. Logam ini mudah dimurnikan sehingga banyak digunakan oleh manusia pada berbagai kegiatan misalnya pertambangan, industri dan rumah tangga (Fitriati, 2004). Pada pertambangan timbal berbentuk senyawa sulfida (PbS) Timbal (Pb) secara alami banyak ditemukan dan tersebar luas pada bebatuan dan lapisan kerak bumi. Di perairan logam Pb ditemukan dalam bentuk Pb^{2+} , $PbOH^+$, $PbHCO_3$, $PbSO_4$ dan $PbCO^+$ (Rohilan, 1992).

Pb^{2+} di perairan bersifat stabil dan lebih mendominasi dibandingkan dengan Pb^{4+} . Masuknya logam Pb ke dalam perairan melalui proses pengendapan yang berasal dari aktivitas di darat seperti industri, rumah tangga dan erosi, jatuhnya partikel-partikel dari sisa proses pembakaran yang mengandung tetraetil Pb, air buangan dari pertambangan biji timah hitam dan buangan sisa industri baterai (Palar, 1994).

Logam Pb bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Keracunan akut biasanya ditandai dengan rasa terbakar pada mulut, adanya rangsangan pada sistem gastrointestinal yang disertai dengan diare. Gejala kronis umumnya ditandai dengan mual, anemia, sakit di sekitar mulut, dan dapat menyebabkan kelumpuhan (Darmono, 2001).



Sumber: Apriady, 2005

Gambar 1. Logam Timbal (Pb)

Sumber timbal dalam perairan alami terdapat dalam jumlah yang sangat kecil. Beberapa unsur logam ini dalam jumlah kecil umumnya dibutuhkan oleh organisme hidup untuk pertumbuhan dan perkembangan, tetapi dalam jumlah berlebihan dapat bersifat racun terhadap manusia, hewan dan tumbuhan (Muhartoyo 1986).

Senyawa timbal yang memasuki perairan dapat pula berasal dari tanah dan batuan yang secara alamiah mengandung timbal, daerah-daerah perindustrian, melalui gas buangan kendaraan bermotor, debu dan pembuangan limbah serta pipa yang digunakan untuk mengalirkan air minum. Keracunan timbal terjadi karena kemampuannya merubah logam-logam penting; antara lain Ca, Fe dan Zn. Timbal berikatan dan berinteraksi dengan beberapa protein dan beberapa molekul dari logam tersebut, tetapi molekul-molekul yang dihasilkan berbeda fungsinya dan gagal untuk menghasilkan reaksi yang sama misalnya dalam produksi enzim penting dalam proses-proses biologis (Ayu, 2009).

Logam berat dapat masuk kedalam jaringan tubuh organisme air melalui rantai makanan, insang dan difusi melalui permukaan kulit. Akumulasi biologis dapat terjadi melalui absorpsi langsung terhadap logam berat yang terdapat dalam badan air, sehingga organisme air yang hidup dalam perairan tercemar berat oleh logam berat, jaringan tubuhnya akan mengandung kadar logam berat yang tinggi juga (Ayu, 2009).

Timbal masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan atau saluran pencernaan menuju sistem peredaran darah kemudian menyebar ke berbagai jaringan lain seperti ginjal, hati, otak, saraf dan tulang. Keracunan timbal pada orang dewasa ditandai dengan gejala 3 P yaitu *pallor* (pucat), *pain* (sakit), dan *paralysis* (kelumpuhan). Keracunan yang terjadi bisa bersifat kronik dan akut. Pada keracunan kronik, mula-mula logam berat tidak menyebabkan gangguan kesehatan yang tampak, tetapi makin lama efek toksik makin menumpuk hingga akhirnya terjadi gejala keracunan. Keracunan timbal kronik ditandai dengan depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu, dan sulit tidur. Keracunan akut terjadi jika timbal masuk ke dalam tubuh seseorang lewat makanan atau menghirup uap timbal dalam waktu yang relatif pendek dengan dosis atau kadar yang relatif tinggi. Gejala yang timbul berupa mual, muntah, sakit perut hebat, kelainan fungsi otak, anemia berat, kerusakan ginjal, bahkan kematian dapat terjadi dalam waktu 1-2 hari (Charlena, 2004).

Daya racun dari logam ini disebabkan terjadi penghambatan proses kerja enzim oleh ion-ion Pb^{2+} . Penghambatan tersebut menyebabkan terganggunya pembentukan hemoglobin darah. Hal ini disebabkan adanya bentuk ikatan yang kuat

(ikatan kovalen) antara ion-ion Pb^{2+} dengan gugus sulfur di dalam asam-asam amino. Untuk menjaga keamanan dari keracunan logam ini, batas maksimum timbal dalam makanan laut yang ditetapkan oleh Departemen Kesehatan RI dan FAO adalah sebesar 2,0 ppm. Pada organisme air kadar maksimum Pb yang aman dalam air adalah sebesar 50 ppb (Al 'Amin, 2013).

2.2 Nanokomposit

2.2.1 Definisi Nanokomposit

Nanokomposit adalah struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar bentuk penyusun struktur yang berbeda. Bahan nanokomposit biasanya terdiri dari padatan anorganik yang mengandung komponen zat organik atau sebaliknya. Nanokomposit dapat juga menjadi media berpori, koloid, gel dan kopolimer. Secara umum, material nanokomposit mendemonstrasikan sifat mekanik, elektrik, optik, elektrokimia, katalik, dan struktural yang berbeda dari masing-masing komponen (Ajayan, 2014).

Nanokomposit merupakan suatu material multi-fase yang berasal dari kombinasi dua komponen atau lebih, yaitu: suatu komponen matriks sebagai suatu fase kontinyu dan kedua, fase dimensional nano sebagai fase tidak kontinyu yang berukuran satu dimensi ukuran nano dengan diameternya kurang dari 100 nm (Azeredo, 2009).

Istilah nanoteknologi digunakan untuk mendeskripsikan kreasi dan eksploitasi suatu material yang memiliki ukuran struktur diantara atom dan material ukuran besar yang didimensikan dengan ukuran nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9}\text{m}$). Sifat dari material dengan dimensi nano sangat berbeda secara signifikan dari atomnya juga dari partikel besarnya. Kontrol yang baik terhadap sifat tersebut bias menuntun ke pengetahuan baru yang sesuai dengan peralatan dan teknologi baru. Pentingnya nanoteknologi pertama kali dikemukakan oleh Feynman pada tahu 1959 (Ariningsih, 2016).

Komposit merupakan kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda dan berlainan sifat, dimana material yang satu berfungsi sebagai komponen matriks

(bahan pengikat) sedangkan material lainnya berfungsi sebagai komponen *filler* (bahan pengisi). Nanokomposit dibuat dengan menyisipkan nanopartikel (*nanofiller*) ke dalam sebuah material makroskopik (matriks). *Filler* merupakan bahan pengisi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit yang mendapatkan ukuran hingga skala nanometer, biasanya berupa serat ataupun serbuk (Firmansyah, 2013).

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan mengumpul dalam suatu zat penyerap. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi. Pada Adsorpsi ada yang disebut Adsorben dan Adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap (Giyatmi, 2008).

2.3.1 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi jenis ini bersifat *reversible*, berlangsung secara cepat dengan penyerapan kalor kecil, interaksi dianggap hanya menghasilkan gaya *van der Waals* dan terjadi pada semua proses adsorpsi serta berlangsung pada temperatur rendah. Reaksi kesetimbangan dinamis dapat terjadi bila reaksi yang terjadi merupakan reaksi bolak-balik. Reaksi ditulis dengan dua anak panah yang berlawanan. Reaksi berlangsung dari dua arah, yaitu dari kiri ke kanan dan dari kanan ke kiri, zat hasil reaksi dapat dikembalikan seperti zat mula-mula. Reaksi tidak pernah berhenti karena komponen zat tidak pernah habis.

2. Adsorpsi kimia

Terjadi dalam bentuk reaksi kimia, membutuhkan energi aktivasi. Kalor penyerapan tinggi karena reaksi-reaksi yang membentuk reaksi kimia. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorpsi fisika dan sulit diregenerasi. Pada peristiwa

reaksi satu arah, zat-zat hasil reaksi tidak dapat bereaksi kembali membentuk zat pereaksi. Reaksi berlangsung satu arah dari kiri ke kanan. Zat hasil reaksi tidak dapat dikembalikan seperti zat mula-mula. Reaksi baru berhenti apabila salah satu atau semua reaktan habis (Atkins, 1999).

Tabel 1. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia

No.	Adsorpsi fisika	Adsorpsi kimia
1.	Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
2.	Mempunyai entalpi reaksi 4 sampai 40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi 40 sampai 800 kJ/mol
3.	Dapat membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
4.	Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
5.	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
6.	Tidak melibatkan energi aktivasi Tertentu	Bersifat sangat spesifik
7.	Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

Sumber: Atkins, 1999

2.3.2 Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat kimia dan fisika. Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu:

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben (proses adsorpsi sebenarnya), (Reynolds, 1982).

Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu:

1. Proses adsorpsi dilakukan dalam suatu bak dengan sistem pengadukan, dimana penyerap yang biasanya berbentuk serbuk dibubuhkan, dicampur dan diaduk dengan air dalam suatu bangunan sehingga terjadi penolakan antara partikel penyerap dengan fluida.
2. Proses adsorpsi yang dijalankan dalam suatu bejana dengan sistem filtrasi, dimana bejana yang berisi media penjerap di alirkan air dengan model pengaliran gravitasi. Jenis media penyerap sering digunakan dalam bentuk bongkahan atau butiran/granular dan proses adsorpsi biasanya terjadi selama air berada di dalam media penyerap (Reynold, 1982).

2.3.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Dalam proses adsorpsi banyak faktor yang dapat mempengaruhi laju proses adsorpsi dan banyaknya adsorbat yang dapat dijerap. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi sebagai berikut:

1. Agitasi

Agitasi adalah keadaan bergolak atau bisa disebut turbulen. Laju proses adsorpsi dikendalikan oleh difusi lapisan dan difusi pori, tergantung pada keadaan larutan, tenang atau bergolak/turbulen.

2. Karakteristik Adsorben

Karakteristik adsorben yang mempengaruhi laju adsorpsi adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Semakin kecil adsorben maka laju adsorpsi akan semakin cepat, sementara semakin luas permukaan adsorben maka jumlah partikel adsorbat yang diserap akan semakin banyak.

3. Kelarutan Adsorbat

Proses adsorpsi terjadi saat adsorbat terpisah dari larutan dan menempel di permukaan adsorben. Partikel adsorbat yang terlarut memiliki afinitas yang kuat. Tetapi ada pengecualian, beberapa senyawa yang sedikit larut sulit untuk diserap, sedangkan ada beberapa senyawa yang sangat larut namun mudah untuk diserap.

4. Ukuran Pori Adsorben

Ukuran pori merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena senyawa adsorbat harus masuk ke dalam pori adsorben. Proses adsorpsi akan lancar apabila ukuran pori dari adsorben cukup besar untuk dapat memasukan adsorbat ke dalam pori adsorben. Kebanyakan air limbah mengandung berbagai ukuran partikel adsorbat. Keadaan ini dapat merugikan, karena partikel yang lebih besar akan menghalangi partikel kecil untuk dapat masuk ke dalam pori adsorben. Akan tetapi gerakan konstan dari partikel adsorbat dapat mencegah terjadinya penyumbatan. Gerakan partikel kecil yang cepat membuat partikel adsorbat yang lebih kecil akan terdifusi lebih cepat ke dalam pori.

5. pH

pH memiliki pengaruh yang besar terhadap tingkat proses adsorpsi, disebabkan ion hidrogen dapat menjerap dengan kuat, selain itu pH juga dapat mempengaruhi ionisasi. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH tinggi. Nilai optimum pH bisa ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium.

6. Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi laju adsorpsi. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur, begitu pula sebaliknya. Proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat temperatur rendah dan turun pada temperatur tinggi.

7. Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda (Low, 1995). Kondisi *equilibrium* akan dicapai pada waktu yang tidak lebih dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu (Hassler, 1974)

2.4 Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (Saragih, 2008). Kebanyakan adsorben adalah bahan- bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori- pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Pori-pori biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar daripada permukaan luar dan bisa mencapai 2000 m/g. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan tersebut lebih erat daripada molekul lainnya. Adsorben yang digunakan secara komersial dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok polar dan non polar (Saragih, 2008).

Adsorben yang telah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi. Suatu adsorben dipandang sebagai suatu adsorben yang baik untuk adsorpsi dilihat dari sisi waktu. Lama operasi terbagi terbagi menjadi dua, yaitu waktu penyerapan hingga komposisi diinginkan dan waktu regenerasi atau pengeringan adsorben. Semakin cepat dua variable tersebut, maka semakin baik unjuk kerja adsorben tersebut (Saragih, 2008).

2.4.1 Macam-macam Adsorben

a. Adsorben Polar.

Adsorben polar mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap asam karboksilat, alkohol, alumina, keton dan aldehyd. Contohnya adalah alumina.

b. Adsorben non Polar.

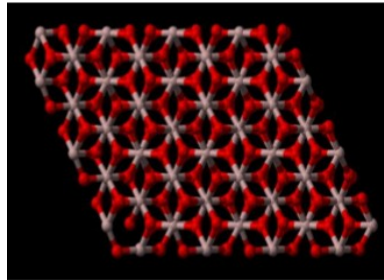
Adsorben non polar mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap amin dan senyawa yang bersifat basa. Contohnya adalah silika.

c. Adsorben Basa.

Adsorben basa mempunyai daya adsorpsi yang besar terhadap senyawa yang bersifat asam. Contohnya adalah Magnesia (Widayanto, 2017)

2.5 Aluminium oksida (Al_2O_3)

Aluminium oksida (alumina) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Secara alami, alumina terdiri dari mineral korondum dan memiliki bentuk kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Sumber: Hudson, 2002

Gambar 2. Struktur kristal mineral korondum alumina

Alumina juga dikenal sebagai senyawa berpori sehingga dimanfaatkan sebagai adsorben (Ghababazade, 2007). Sifat lain dari alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah daya tahan terhadap korosi (Mirjalili, 2011) dan titik lebur yang tinggi, yakni mencapai 2053-2072 °C (Budavari, 2001).

Secara umum alumina ditemukan dalam tiga fasa, yang dikenal sebagai γ , β , dan α alumina. Ketiga fasa di atas diketahui memiliki sifat-sifat yang berbeda, sehingga memiliki aplikasi yang khas (unik). Beta alumina ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$) memiliki sifat tahan api yang sangat baik sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi keramik seperti pembuatan tungku *furnace* (Arribart, 2001).

Gamma alumina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) banyak digunakan sebagai material katalis, contohnya dalam penyulingan minyak bumi (Knozinger dan Ratnasamy, 1978) dan digunakan dalam bidang otomotif (Gate, 1995). Alfa alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) mempunyai struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a = 4,7588$ dan $c = 12,9910$ nm.

Alfa alumina banyak digunakan sebagai salah satu bahan refraktori dari kelompok oksida, karena bahan tersebut mempunyai sifat fisik, mekanik dan termal yang sangat baik (Mirjalili, 2011). Fasa paling stabil dari alumina adalah fasa alfa alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), dalam proses perlakuan termal $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ diperoleh melalui transformasi fasa yang diawali dari Boehmite $\text{AlO}(\text{OH})$ yaitu: boehmite γ -

alumina δ -alumina θ -alumina β -alumina α -alumina
(Beitollahi, 2010).

Fasa gamma alumina (γ -Al₂O₃) merupakan senyawa yang lebih reaktif dibandingkan alfa alumina (α -Al₂O₃). (γ -Al₂O₃) merupakan bahan keramik yang berpori sehingga banyak digunakan sebagai katalis, adsorben, konduktor ionik, penyaring membran, pelapis, dan penyekat aerogel (R. Rogojan, 2011).

2.6 Besi (III) Oksida (Fe₂O₃)

Besi (III) oksida dikenal juga dengan nama bijih besi adalah salah satu senyawa oksida dari besi dan mempunyai rumus kimia Fe₂O₃ dan mempunyai sifat paramagnetik. α -Fe₂O₃ mempunyai struktur *rhombohedral*, korundum (α -Al₂O₃) dan merupakan bentuk yang paling umum ditemukan. Senyawa dalam bentuk ini terbentuk secara alamiah sebagai mineral bijih besi yang ditambang sebagai bijih besi utama. Senyawa ini bersifat antiferromagnetik di bawah suhu 260 K dan ferromagnetik lemah antara 260 K dan 950 K. Besi (III) oksida mudah disiapkan menggunakan dekomposisi termal dan pengendapan dalam suatu cairan. Sifat magnetiknya dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti tekanan, ukuran partikel, dan intensitas magnet. Berikut ini adalah sifat-sifat Fe₂O₃:

Massa molar : 159,69 g/mol

Bentuk : Padatan

Warna : Merah kecoklatan

Densitas : 5,242 g/cm³

Kelarutan : Tidak larut (Septityana, 2013).

2.7 Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang paling sukses dalam mempersiapkan material oksida logam berukuran nano. Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padat dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat

dengan metal alkoksi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis (Paveena et al., 2010).

Gel (*gelation*) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alkohol atau air, yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida (Paveena, 2010).

Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbedabeda bergantung prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu berupa powder, film, aerogel, atau serat. Struktur dan sifat fisik gel sangat bergantung pada beberapa hal, diantaranya:

1. Pemilihan bahan baku material
2. Laju hidrolisis dan kondensasi
3. Modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel.

Metode sol gel cocok untuk preparasi thin film dan material berbentuk powder. Tujuan preparasi ini agar suatu material keramik dapat memiliki fungsional khusus (elektrik, optik, magnetik, dll). Metode sol gel memiliki keuntungan antara lain:

1. Mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik)
2. Temperatur proses rendah
3. Biaya murah.

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “wet method” atau metode basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol (Phumying , 2010).

2.8 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah adsorpsi yang menggambarkan hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dan temperatur konstan. Persamaan yang sering digunakan untuk menggambarkan data percobaan isoterm telah dikembangkan oleh 1) Freundlich, 2) Langmuir, dan 3) Brunauer, Emmett, dan Teller (Isoterm BET). Isoterm langmuir adalah isoterm paling sederhana, didasarkan pada asumsi bahwa setiap tempat adsorpsi adalah ekivalen, dan kemampuan partikel untuk terikat di tempat itu tidak bergantung pada di tempati atau tidaknya tempat yang berdekatan (Atkins, 1994).

Isotherm Langmuir mengabaikan kemungkinan bahwa mono lapisan awal dapat berlaku sebagai substrat untuk adsorpsi (fisika) selanjutnya. Dalam hal ini, isotherm itu tidak mendatar pada suatu nilai jenuh pada tekanan tinggi, tetapi dapat diharapkan naik secara tak terbatas. isotherm BET (Atkins, 1994). Isoterm Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan *site* bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap *site* (Slamet dan Masduqi, 2000).

2.9 X-Ray Diffraction (XRD)

Teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) berperan penting dalam proses analisis padatan kristalin. XRD adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman, 2000: 145). Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$) yang lebih pendek dibanding gelombang cahaya ($\lambda = 400\text{-}800 \text{ nm}$) (Smallman, 2000: 145).

Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. Jarak interplanar dapat dihitung hingga empat atau lebih angka signifikan dengan mengukur sudut difraksi. Ini merupakan dasar untuk menentukan jarak interatomik dan menghitung jari-jari (Lawrence H. Van Vlack, 2004: 94). Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan

mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai data standar (Dwi, 2010).

Suatu material jika dikenai sinar-X maka intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang, hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya yang sama. Berkas sinar-X yang menguatkan (interferensi konstruktif) dari gelombang yang terhambur merupakan peristiwa difraksi. Sinar-X yang mengenai bidang kristal akan terhambur ke segala arah, agar terjadi interferensi konstruktif antara sinar yang terhambur dan beda jarak lintasnya maka harus memenuhi pola $n\lambda$ (Taqiyah, 2012).

Metode difraksi sinar-x dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Metode kristal tunggal. Metode ini sering digunakan untuk menentukan struktur kristal, dalam ini dipakai berbentuk kristal tunggal.
2. Metode serbuk (*powder method*).

Bahan sampel pada metode kedua dibuat berbentuk serbuk, sehingga terdiri banyak kristal yang sangat kecil dan orientasi sampai tidak perlu diatur lagi karena semua orientasi bidang telah ada dalam sampel dengan demikian hukum Bragg dapat dipenuhi. Metode serbuk lebih cepat dan lebih sederhana dibandingkan dengan metode kristal tunggal. Metode serbuk ini dapat digunakan untuk menganalisa bahan apa yang terkandung di dalam suatu sampel juga dapat ditentukan secara kuantitatif (Cullity, 1956).